# ボード設計トラブル・シューティング 16連発！

池田浩昭，陰浦俊則，久保寺 忠，
城野幸男，中川政雄

**本誌2004年6月号（特集1「ボード設計の勘どころとトラブル対策」，第3章）にて好評だったボード設計にかかわるトラブル事例集の第2弾をお届けする．今回は16項目のトラブル事例を紹介する．一部，説明をわかりやすくするために脚色された部分もあるが，いずれもボード設計やシステム設計の現場で実際に発生したトラブルの体験談である．　（編集部）**

本稿で紹介するトラブルを下掲の表にまとめました．トラブルの種類の内訳は，「回路設計」に関するトラブルが2件，「高速ディジタル信号」に関するトラブルが3件，「コネクタ，ケーブル」に関するトラブルが4件，「計測器」に関するトラブルが4件，「CAD運用」に関するトラブルが2件，「環境対応」に関するトラブルが1件です．

今回は，ボードを開発する際に不ぐあいの原因となりやすいコネクタやケーブル，計測器などに関係するトラブルを多数紹介します．また，環境に配慮した実装技術（鉛フリー，ハロゲン・フリーなど）が続々採用されていることから，環境対応に関するトラブルも取り上げました．

それぞれのトラブルについて，その深刻度を5段階（1～5）で示しました．また，トラブルの内容は，症状，原因究明の過程，対策に分けて説明しました．

読者のみなさんがプリント基板を設計したり，電子機器を開発したりするときに，同じようなトラブルに陥らないように，参考にしてください．そして，もしも本稿で紹介したトラブルに陥ったとき，どのように対策すれば問題を解決できるのかを本事例集から読み取っていただければ幸いです．

表　本稿で紹介するトラブル対策事例

| | トラブルの内容 | 分　類 | 深刻度 | ページ |
|---|---|---|---|---|
| No. 1 | データをきちんと伝送できず，その原因がわからない | 回路設計 | ★★ | p. 99 |
| No. 2 | スイッチにつながる配線から原因不明のノイズが発生 | 回路設計 | ★★★★ | p. 100 |
| No. 3 | クロックの立ち上がりにひずみが出て誤動作する | 高速ディジタル信号 | ★★ | p. 101 |
| No. 4 | クロック・ラインに対策を施してもノイズが減らない | 高速ディジタル信号 | ★★★ | p. 102 |
| No. 5 | 差動インピーダンスは合っているのにノイズが出る | 高速ディジタル信号 | ★★★ | p. 103 |
| No. 6 | 「コネクタが実装できない」と製造部門からクレームが… | コネクタ，ケーブル | ★ | p. 104 |
| No. 7 | ボード間接続用コネクタの向きが180°逆になってしまった | コネクタ，ケーブル | ★ | p. 105 |
| No. 8 | フレキシブル基板の端子部の銅はくがはがれた | コネクタ，ケーブル | ★★ | p. 106 |
| No. 9 | フラット・ケーブルを動かしたり触れたりすると，ノイズ・レベルが変動する | コネクタ，ケーブル | ★★★ | p. 107 |
| No. 10 | ノイズの影響で測定値がばらつく | 計測器 | ★★★ | p. 108 |
| No. 11 | 静電気で計測器の故障が多発 | 計測器 | ★★★ | p. 109 |
| No. 12 | オシロスコープの測定結果を信用できない | 計測器 | ★★★★ | p. 110 |
| No. 13 | 計測器が頻繁に故障する | 計測器 | ★★★★★ | p. 111 |
| No. 14 | 複雑な基板外形の入力作業がたいへん．ロゴや文字も入れたい | CAD運用 | ★★ | p. 112 |
| No. 15 | 入手したCADデータが読み込めない | CAD運用 | ★★★ | p. 113 |
| No. 16 | ハロゲンフリー基材に切り替えたら，誤動作が発生した | 環境対応 | ★★★ | p. 114 |

Trouble Number 001

# データをきちんと伝送できず，その原因が分からない

トラブルの種類 回路設計

深刻度 2

**症状** 回路基板のデバックを行っていたのですが，どうも誤動作を起こしているようです．解析を行ったところ，CPUとゲートアレイ（ASIC）の間でデータがきちんと転送されていないことはわかりましたが，どこにまちがいがあるのかわかりません．二つのLSIを結ぶ外部バス・クロックの動作周波数は33MHz程度とそれほど高くありません．オシロスコープで観測しても，クロック波形の形状にはなんら問題はありませんでした．ゲートアレイは今回の機種のために新しく設計したものでした．

## 原因究明の過程

「回路図の記述をまちがえたのではないか」と思い，まず回路図を再確認しました．しかし，なんら問題は見つかりませんでした．

次に，プリント基板設計上の結線を疑いました．回路図データから抽出したネットリストと，レイアウト・データから逆抽出したネットリストを比較しましたが，これも問題ありませんでした．

それから，プリント基板の製造工程を確認しました．多層基板を使用したため，内層の配線に問題がないかどうかを調べることはできません．そのため，時間はかかりますが，オシロスコープですべての信号波形を一つずつ確認することにしました．信号周波数が低いこともあり，ここでもとくに問題があるような現象は発見できませんでした．

データ転送のタイミング仕様やソフトウェア的な問題が生じることも考えられますが，誤動作の状況があまりにも漠然としていたため，それぞれの担当者にクレームをつけられる状況でもありませんでした．

そこで，今回，ゲートアレイが新規設計だったということもあったので，LSIの設計者に相談を持ちかけてみました．すると，そのゲートアレイの内部回路はCS（chip select）信号をトリガとして利用していると言うではありませんか（図1-1）．ここに不ぐあいの原因がありました．




**図1-1　問題のあったゲートアレイの回路図の一部**

CLKラインがトリガ信号になることは，LSI設計者でなくとも推測できる．しかし，このような何気ないライン（CS：chip select）がゲートアレイの内部回路のトリガ信号になっていることを，この回路図から判断することは不可能である．

## 対策

ある程度大きなシステムになると，複数の担当者が分担して設計することが多くなります．その結果，自分が直接担当する領域以外の箇所に対する知識が乏しくなります．また，ゲートアレイのようなカスタムLSIの場合，自社でのみ使用することを前提としているため，通常は見かけない回路方式を採用しているケースがあります．

今回のケースではLSI設計者にアナログ的な知識が不足していたため，「信号のエッジが乱れる」という状態の存在を軽視していたことがトラブルの原因の一つでした．また，ボード・レベルの回路設計を担当したエンジニアは結線の問題に没頭していたため，事前の打ち合わせの場で，今回のトリガ信号の問題について議論していませんでした．

結局，あらためてLSI設計者と打ち合わせを行い，トリガとして使用している信号線を把握し，アートワークを修正することによって改善することができました．

**教訓** カスタムLSIを使用するときは，LSI設計者，回路設計者，ボード設計者の間の十分な打ち合わせが必要

なかがわ・まさお　（株）シイエムケイ回路設計センター

Trouble Number 002

# スイッチにつながる配線から原因不明のノイズが発生

トラブルの種類　回路設計

深刻度　4

**症状**　CPU搭載の制御基板で，どうしても取れないノイズがありました．コネクタ周辺のグラウンドの電位がCPUの動作に同期して揺れ動いているのです．電源ケーブル以外の配線を取り除くと，ノイズは激減します．再び配線を少しずつ接続していくと，スイッチに接続された2本の配線にたどり着きました（写真2-1）．この配線はクロックなどの高速信号を伝えるものではなく，たんにスイッチのON/OFFを伝えるだけのものです．

## 原因究明の過程

発振器（12MHz）とICで構成されたドライバ基板と，コンデンサ（負荷）とスイッチで構成された終端基板を使って，今回のノイズ発生のメカニズムを探ってみました．ドライバ基板だけを動作させたところ，ノイズは出ませんでした．次に，両基板のグラウンドを1本の配線で接続したところ，ノイズが観測されました（図2-1）．

プリント基板内の配線を流れる電流は，グラウンドを通って信号源に戻ります．一方，配線が基板外に出ている場合は，グラウンドの役割を果たす接続がないと，電流は信号源に戻ることができません．上記の例では両基板のグラウンドを1本の配線で接続しただけなので，この配線にドライバ基板のグラウンドの変動（ICの動作と同期）が伝わってノイズを発生させたと考えられます．

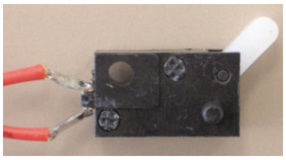


**写真2-1　こんなところからノイズが…**

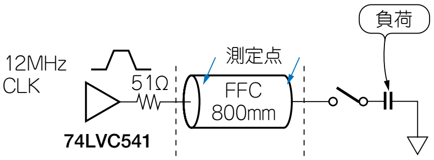



**図2-2　実験回路**

負荷を接続するかどうかでノイズの状態が変わる．

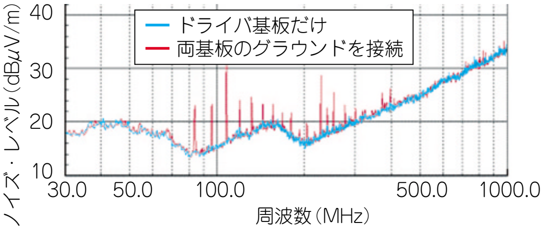



**図2-1　ドライバ基板と終端基板を接続**

ドライバ基板と終端基板のグラウンドどうしを800mmの配線で接続したところ，ノイズが観測された．

## 対策

図2-2の実験回路において，負荷（22pF）を開放したときと接続したときの近傍電界が図2-3です．負荷を接続したほうが全周波数域でノイズが低下していることがわかります．開放されている場合は，信号電流が流れるルートがなく，配線はアンテナと同じ役割しかしていません．写真2-1のスイッチも同様で，開放（OFF）状態では配線は片側のインピーダンスが無限大のアンテナとなります．

配線に流れる信号電流は，戻るルートを確保していれば，それほど問題にはなりません．モータ，センサなど，製造側で購入する接続部品については，動作時に開放状態にならないかどうかを確認しておき，問題があれば部品メーカに相談して，対策を講じる必要があります．

**教訓**　たった1本の配線からでもノイズは発生する

くぼでら・ただし　日本フェンオール（株）

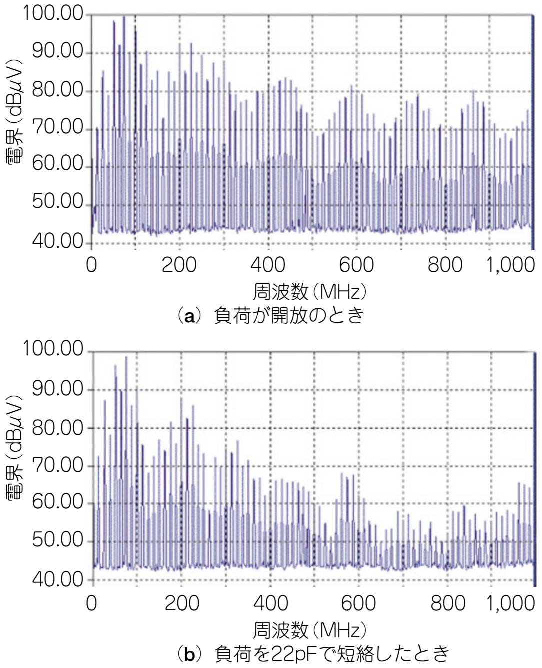



**図2-3　近傍電界**

負荷（22pF）を入れると，ノイズが減少することがわかる．

Trouble Number 003

# クロックの立ち上がりにひずみが出て誤動作する

トラブルの種類 高速ディジタル信号

深刻度 2

**症状**

四つのSDRAMとつながる100MHz動作のSDRAMインターフェースを利用した回路を設計していました．部品が実装された基板ができ上がってきたので，動作検証を行っていたところ，誤動作が起こりました．どうやらSDRAMに入力されるクロック信号の立ち上がりにひずみが発生して，正しくトリガすることができないようです．クロック・ライン上に付けていたダンピング抵抗の値を変えて問題解決を図ろうとしたのですが，うまくいきません．

## 原因究明の過程

コントローラLSIやSDRAMにはなんら問題はないようです．プリント基板のアートワークを確認したところ，コントローラLSIと四つのSDRAMのクロック・ラインはひと筆書きで結線していました．これは，過去の設計で実績のある配線法で，アートワークの担当者に対して指示したルールどおりです．従来はこれで問題なく動作していました．ただし，今回の製品はこれまでの製品より動作クロック周波数がかなり上がっています．そこで，伝送線路シミュレータを用いて信号波形を検証してみることにしました．

問題のクロック・ラインを100MHzの設定でシミュレーションしたところ，立ち上がりにひずみのある波形が出てきました(図3-1(a))．試しに同じラインを20MHzの設定でシミュレーションしたところ，オーバシュートやアンダシュートはあるものの，動作上の問題はないと思われる波形になっていました(図3-1(b))．つまり，同じアートワークであっても，信号周波数の違いによって問題が発生することがわかりました．

## 対策

どのような配線形状(トポロジ)にすればよいのかを検討するために試作基板を製作するのは費用と時間がかかり過ぎるので，伝送線路シミュレータを利用して検討することにしました．その結果，等長分岐型の配線を行うことによって波形ひずみを解消できることがわかりました(図3-1(c))．

通常のディジタル回路の配線では，LSIの入出力インピーダンスとプリント基板の特性インピーダンスの差によって信号の反射が起こります．ひと筆書き配線では，この反射信号成分の時間差が原因となって，波形が乱れてしまいます．一方，等長分岐配線にすると，分岐箇所ごとの反射信号成分の時間差をそろえることができるため，波形が乱れにくいのです．

ただし，等長分岐配線はひと筆書き配線と比べて配線領域の面積を多く必要とする傾向にあり，実装面積の制約がある基板では利用しにくいケースも考えられます．前述したように，比較的低速の信号ではひと筆書きでも問題ありません．そこで，事前に伝送線路シミュレータを用いて，もっとも適切な配線形状を検討することが推奨されています．

伝送線路シミュレータが手元にない，または利用できる環境になく，事前検討ができないような場合には，あらかじめ等長分岐配線にしておくほうが無難でしょう．

**教訓** ひと筆書き配線の効果を過信してはいけない

なかがわ・まさお　(株)シイエムケイ回路設計センター

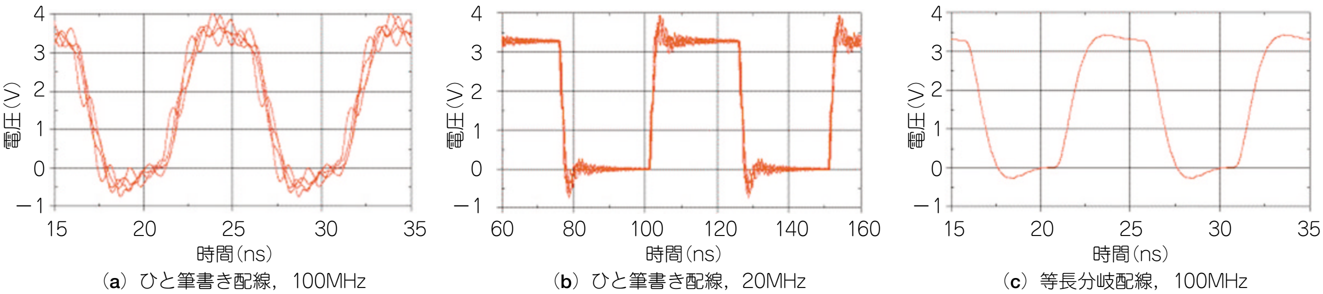



**図3-1　四つのSDRAMの受信信号波形**

ひと筆書き配線では，(a)のように乱れた信号波形となっていた．クロック周波数を20MHzに変更すると，(b)のようにオーバシュートやアンダシュートはあるものの，波形の乱れは減った．等長分岐配線を採用すると，100MHz動作であっても，(c)のようにひずみのない波形が得られた．なお，この図では四つのSDRAMの受信信号の波形を重ねて表示している．等長処理を施した(c)では四つの信号波形がピッタリ重なっているため，一つの波形のように見えている．

Trouble Number 004

# クロック・ラインに対策を施してもノイズが減らない

トラブルの種類 高速ディジタル信号

深刻度 3

**症状** 133MHzのクロック周波数で動作するSDRAMインターフェースがプリント基板上にあります．基板上のノイズ分布を観測すると，この高速インターフェース付近から強いEMI（電磁放射ノイズ）が発生しており，対策に苦慮しています．これまでの経験上，いちばんのノイズ元になると考えられるクロック・ラインにはダンピング抵抗を挿入し，内層配線を行っています．

## 原因究明の過程

クロック・ラインに付いているダンピング抵抗を大きな値にすることによって，ある程度のノイズは減少させることができました．しかし，抵抗値を大きくしすぎると，波形品質の劣化を招いたようで，誤動作を起こしました．そのため，この手法によるノイズ対策には限界がありました．

あらためてアートワークを眺めてみると，クロック・ライン周辺にはこれを取り囲むように数十本に及ぶアドレス・データ・ラインが存在していました．これらすべての高速バス配線をオシロスコープで観測することは難しいので，伝送線路シミュレータを利用して信号波形を確認してみました．

すると，クロック・ラインと同じように，ダンピング抵抗を付けていたアドレス・バスは，良質な波形を示していました．しかし，同じくダンピング抵抗を付けているはずのデータ・ラインでは，リード時とライト時の波形が大きく異なっており，リード時の波形から大きなオーバシュートが観測されました（図4-1）．

データ・ラインのダンピング抵抗は，コントローラ側に付いていました．回路設計の段階でも，高速バスということで習慣的にダンピング抵抗を定義していましたが，どこに設置するべきかという検討は行っていませんでした．

## 対策

SDRAMのデータシートでは，ほとんどの場合，出力電流は1mAと記述されています．しかし，これは規格上の最低限の保証値です．汎用品であるSDRAMの出力インピーダンスは，一般的には10Ω前後とたいへん低くなっています．これは，公称24mAの出力電流能力を持つバッファに匹敵し，コントローラLSIと比べてとても強い駆動能力を持っていることがよくあります．

このため，双方向に信号が流れるデータ・バスについては，SDRAM近辺にダンピング抵抗を配置するか，可能であればコントローラLSI近辺とSDRAM近辺の両方にダンピング抵抗を配置することが望まれます．これによって，SDRAMが出力となるリード時の信号波形のオーバシュートを抑え，ノイズを低減することができます．

「ノイズ元はクロック・ラインである」という先入観の下でノイズ対策を進めていたため，貴重な時間を費やす結果となってしまいました．

**教訓** 出力インピーダンスの低いバッファからの信号はノイズの原因になりやすい

なかがわ・まさお　（株）シイエムケイ回路設計センター

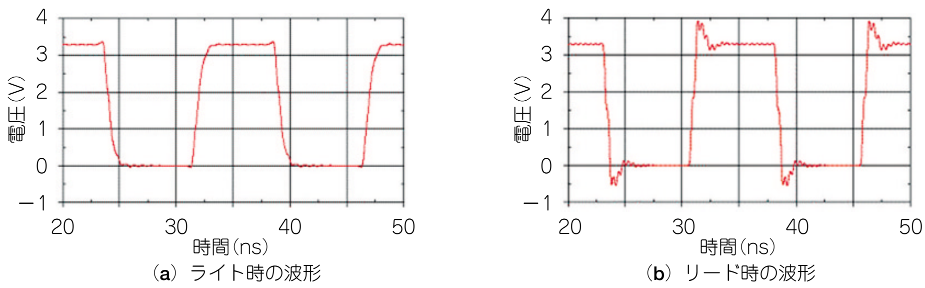



**図4-1**
**データ・バスの信号波形**
コントローラ近辺に配置しているダンピング抵抗の効果により，（a）のライト時の波形にはオーバシュートがない．一方，リード時（SDRAMがドライバとなる場合）には，コントローラ近辺に配置しているダンピング抵抗はその効力をほとんど発揮せず，（b）のように大きなオーバシュートが存在する．

Trouble Number 005

# 差動インピーダンスは合っているのにノイズが出る

トラブルの種類　高速ディジタル信号

深刻度　3

**症状**　基板メーカにプリント基板の製作を依頼する際，差動伝送時の特性インピーダンスが100 Ωとなるように指示しました．基板メーカはTDR（time domain reflectometer）測定器を使用してインピーダンス管理を行っており，これまではとくに問題が出ていませんでした．しかし，でき上がった基板にデバイスを実装した後，信号を確認してみると，どうもノイズに起因するような誤動作が出ます．念のため自分でもTDR測定を行ってみたのですが，特性インピーダンスには問題がなさそうです．

## 原因究明の過程

今回製作した基板は比較的高密度のもので，基板メーカの評価は，差動伝送線路のテスト・クーポン（同一基板上に形成したテスト用配線）を使用したものでした．この方法は一般によく使われており，高密度実装基板のように実際の配線に直接プローブを当てにくい場合に有効です．

差動伝送には以下のような特徴があります．

1）コモン・モード・ノイズに耐性がある（外来ノイズに強い）

2）EMI（電磁放射ノイズ）が少ない

3）信号の振幅が小さい（消費電力が低い）

このうち，1）と2）は重要です．なぜなら特徴の3）は，1）と2）があって初めて実現するものだからです．これらは差動伝送線路の間の結合の度合いによって，その効果が変わってきます．よって，特性インピーダンスとともに，コモン・モード・ノイズやEMIの低減について，どのくらいの効果が期待できるのかを評価する必要があるのです．

では，コモン・モード・ノイズとEMIを，どのようにして評価すればよいのでしょうか．4ポートのネットワーク・アナライザで差動Sパラメータを測定するのも一つの方法です．しかし，実はTDR測定器だけでも簡単に評価できます．

## 対策

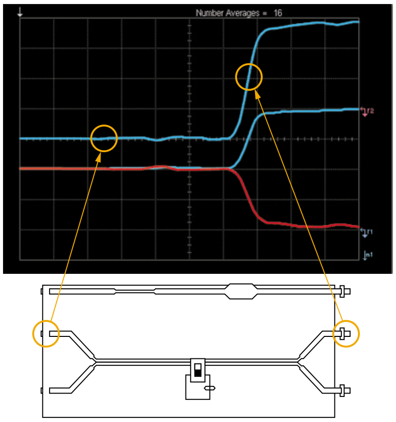
図5-1（a）はTDR測定の結果を示しています．下側にある二つの波形はch1とch2それぞれのTDR結果です．差動信号を与えたときのシングルエンドのインピーダンスで，いわゆる奇数モード・インピーダンスを示しています．

差動TDRで特性インピーダンスを測定するとき，ほとんどの場合は差動の結果のみに注目しがちです．実際，この測定でもインピーダンスが100 Ω，ch1とch2それぞれが50 Ωの値を示し，結果は良好でした．ところが，この状態でch2を外した結果はと言うと，図5-1（b）のようになりました．これは単純に，差動線路の片側のシングルエンド・インピーダンスです．差動信号を与えた結果よりもインピーダンスが高くなり，50 Ωから74 Ωに増加しています．

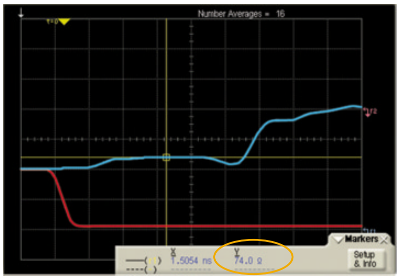
実はこの変化分こそが，2本の差動線路に働く結合の大きさを表しているのです．結合が大きければ，外部への電磁放射ノイズが減少し，それだけコモン・モード・ノイズ耐性が向上します．テスト・クーポンで測定する場合もこの変化分を測定することが重要で，その結果の良否は，設計段階においてきちんと見極めておく必要があります．

**教訓**　差動伝送線路であっても片側だけのシングルエンド測定を忘れずに

かげうら・としのり　アジレント・テクノロジー（株）



（a）差動の波形



（b）線路の片側を外した波形

**図5-1　差動TDRの波形**

差動のマイクロストリップ線路を測定した．赤と青の線は奇数モード・インピーダンスを表している．（b）はシングルエンド測定と同等だが，差動で測定した場合と比べて50 Ωから74 Ωに変化している．

Trouble Number 006

# 「コネクタが実装できない」と製造部門からクレームが…

トラブルの種類 コネクタ，ケーブル

深刻度 1

**症状** お恥ずかしい話ですが，筆者が設計担当になったばかりで経験が浅いとき，たいへんなミスを犯してしまいました．あるプリント基板の設計を終了し，試作しようとした段階で，製造部門から「コネクタが実装できない」との連絡がありました．そのコネクタは，一般的な表面実装用の0.5mm ピッチのコネクタでした．

## 原因究明の過程

コネクタを確認すると，コネクタ実装面に位置決め用の突起（ボス）があるのですが，プリント基板にはそのボス用の穴が開いていませんでした（図6-1）．このボスがじゃまをしてコネクタを実装できないという，きわめて初歩的なミスでした．

よく調べてみると，これは設計段階の問題ではなく，代替品を選択する際のミスでした．実は，この開発プロジェクトは非常に短納期であったため，コネクタの調達が間に合いませんでした．そのとき，社内の資材管理部門から「××××-Bというコネクタなら在庫がある」との連絡がありました．品番に-Bが付いていること以外はまったく同じ型番だったので，さして気にせずそのまま利用しました．ところが，その型番の-Bは“ボスあり”の意味で，プリント基板上にボスを逃がすための穴をあけておかないと実装できなかったのです．

## 対策

もともと短納期であったため，プリント基板の設計変更は間に合いませんでした．また，ボスなしコネクタの入手も困難でした．やむなく，梱包材からコネクタを取り出し，ボスを手作業で一つ一つ切断してもらうことになりました．

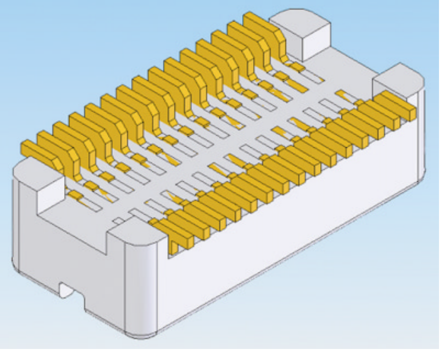
コネクタは自動実装機用に型押しされたテープ状の容器に梱包されています．一度取り出すと，自動実装できなくなります．その結果，実装も手作業になり，当初予定していた製造時間を大幅に上回ることになりました．幸い，まだ試作段階だったため，数量はそれほど多くはなく，大事には至りませんでしたが，製造部門と資材管理部門には多大な迷惑をかけることになりました．

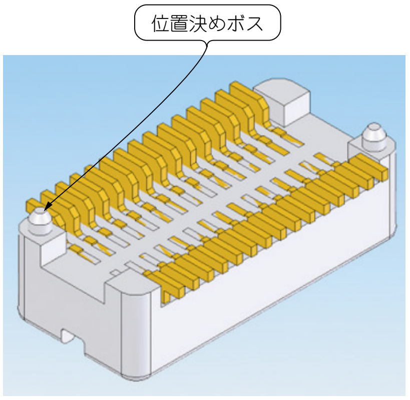
数分程度の時間を割けば確認できたはずですが，日々の業務に追われてしまい，つい「だいじょうぶだろう」と考えたのが失敗でした．設計や代替品を検討する際にデータシートをよく見ればよいのですが，納期が迫ると気がはやるばかりで，重要なポイントを見落としがちです．また，慣れないうちは，データシートや仕様書の見かたもままなりません．

平凡なことですが，新人のうちはふだんからデータシートをよく見る，先輩設計者にデータシートや仕様書の読みかたを習う，自分だけで判断せず周りの設計者の意見を聞く，といったことを心がけてください．

**教訓** 急がば回れ．時間がないときほど部品の仕様をよく確認せよ

いけだ・ひろあき　日本航空電子工業（株）


(a) 位置決めボスなし



(b) 位置決めボスあり

**図6-1　コネクタの位置決め用の突起（ボス）**

コネクタには，同じ型番でも実装面に位置決め用の突起（ボス）があるものとないものがある．ボスがある場合，プリント基板上にボス

Trouble Number 007

# ボード間接続用コネクタの向きが180°逆になってしまった

トラブルの種類 コネクタ，ケーブル

深刻度 1

**症状** ボード間接続用コネクタを搭載するプリント基板を開発したときのことです．レイアウト設計者に回路図を渡し，アートワークを頼んだのですが，でき上がってきた基板を見てビックリ．こちらが思い描いていた方向と180°逆向きにコネクタが実装されていたのです．

## 原因究明の過程

図7-1(a)に示すとおり，ボード間接続用コネクタの中には，逆挿し防止キーが付いており，決められた向きでしか勘合できない(かみ合わない)ものがあります．これは，組み立てや検査の際に，誤ってプリント基板を逆方向に接続して，(電気的に)破損させないためです．今回使用したコネクタはこのタイプでした．

ダイオードや電解コンデンサ，LSIのように電気的な極性(実装方向)がある部品の場合，回路図上にそのことが明示されています．レイアウト設計者はこれを見て，注意深くアートワーク作業を行います．また，レイアウト設計ではCADツールを利用するので，それぞれの部品に対して，フットプリント形状(部品を実装するためのパッド形状)，レジスト形状(酸化，短絡防止のための樹脂膜の形状)，メタル・マスク形状(はんだ材を印刷するための金属製マスクの形状)，シルク印刷(プリント基板上に部品記号などを表示するための印刷)などの情報が存在します．そのため，回路図に部品の極性を明記しておけば，シルク印刷によって極性が示されたプリント基板ができ上がってきます．製造時に極性をまちがって実装するということは，まずありません．

一方，コネクタの場合は異なります．プリント基板上のコネクタの向きを回路図に書き込むことは，まずありません．コネクタのフットプリントは左右対称の場合が多く，とくに指示がないかぎり，レイアウト設計者は勘合面の違いを気にしません．もちろん，コネクタは相手のある部品なので，実装位置には注意を払ってくれます．しかし，アートワークに影響を与えない勘合方向は，気にも留めないことが多いと思います．

## 対策

今回のケースでは，レイアウト設計をやり直すしか手はありません．

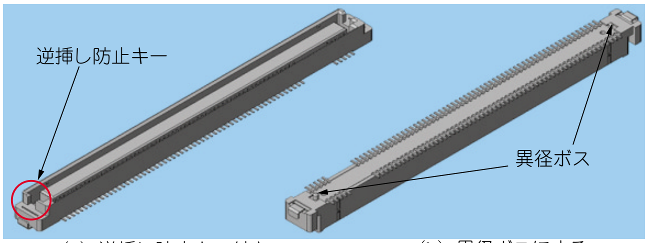
逆挿し防止キー付きコネクタを使用する場合，レイアウト設計者と製造部門の両方に対して，コネクタの実装方向を明確に指示する必要があります．レイアウト設計者には，プリント基板上にシルク印刷で実装方向を明示してもらいます．さらに，作業手順書を製造部門に渡し，コネクタの実装方向を指示します．製造部門はプリント基板上のシルク印刷と作業手順書を突き合わせることによって，コネクタの実装方向が正しいかどうかを確認できます．

逆挿し防止キーが不要と思われる場合(その判断は難しいのだが…)は，勘合面が左右対称なコネクタを利用したほうが無難です．ただし，プリント基板の機能を電気的に検査する場合は，勘合方向を誤る恐れがあるため，検査機側に逆挿し防止のための対策が必要となります．

最近では，実装面に図7-1(b)のような異径の突起(ボス)を付けて誤実装を防ぐくふうを施したコネクタもあります．これを利用すれば，逆方向に実装することができないので，確実に誤実装を防止できます．

**教訓** コネクタの向きについては，別途，製造部門とレイアウト設計者に指示を出せ

いけだ・ひろあき　日本航空電子工業(株)




(a) 逆挿し防止キー付きコネクタの例　(b) 異径ボスによる誤実装防止の例

**図7-1　ボード間接続用コネクタの例**

ボード間接続用コネクタの中には，(a)のように逆挿し防止キーが付いているものがある．このタイプのコネクタを利用する場合，その向きを製造部門やレイアウト設計者にきちんと伝える必要がある．最近では，誤実装を防ぐために，実装面に(b)のような異なる径の突起(ボス)を付けたコネクタもある．

Trouble Number 008

# フレキシブル基板の端子部の銅はくがはがれた

トラブルの種類　コネクタ，ケーブル

深刻度　2

**症状**　FPC（flexible printed circuit）と通常のプリント基板を接続するには，ZIF（zero insertion force）コネクタを利用しますが，コストやユーザのつごうにより，ZIFタイプでないコネクタ（Non-ZIF）を使用せざるをえないことがあります．ある機器の一部を設計・製造したときにこのNon-ZIFコネクタを使用したところ，FPCをコネクタから数回挿抜しただけで，端子部分の銅はくがはがれてしまいました．

## 原因究明の過程

ZIFコネクタでは，その名のとおりFPCをコネクタに挿入する力は必要なく，挿入後，FPCをスライダ（固定用の樹脂製部品）で固定します．FPCを取り外す際は，スライダを持ち上げて引き抜きます．したがって，FPC端子部に余計なストレスを加えることなく，FPCを挿抜できます．

これに対してNon-ZIFタイプのコネクタは，FPCの挿抜に力が必要な反面，スライダがない分だけコストを下げることができます．

原因は，このNon-ZIFコネクタを利用したことと，めっきリード（めっきに必要な電流を流すためのリード線）が端子部にあったためと考えられます．端子部に電解めっきを施すには，めっきリードを直接FPC端子部に接続するのが簡単で確実です．しかし，FPCをNon-ZIFコネクタに挿入する際に，このめっきリード部が最初にコンタクト（コネクタどうしが電気的接続を図るための端子部分）に接触します．Non-ZIFコネクタではコンタクトにつねに力が加わっているため，コンタクトがFPCの端子部の銅はくを押し上げ，はがれが生じたと考えられます．

ZIFコネクタを使用していれば，その名まえのとおり挿入時はコンタクトに圧力がかからず，めっきリードがあっても，挿入時に銅はくを引きはがすような力はかからなくなります．

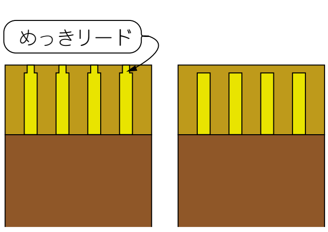



**図8-1　めっきリード削除による対策**

先端のめっきリードを削除した．代わりに別の部分からメッキ・リードを引き出さなければならなくなった．

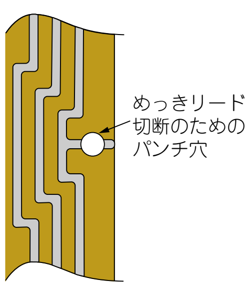



**図8-2　めっきリード切断用パンチ穴**

めっきリード切断用パンチ穴を追加したため，配線を左側にずらした例．

## 対策

今回のトラブルは，電解めっきによるめっきリードとNon-ZIFコネクタを使用したことによる相乗効果が原因です．したがって，対策としては，Non-ZIFコネクタをZIFコネクタに変更するか，めっきリードをなくすか（図8-1）の二者択一となります．このときは，コストの関係でコネクタの仕様変更が困難だったので，端子部のめっきリードをなくして，別の部分からめっきリードを引き出さなければなりませんでした．

電解めっきでは，めっきさせたい部分（この場合はFPCの端子部）と導通するように端子部以外からめっきリードを引き出さなければなりません．しかし，回路構成によっては，端子部以外からのめっきリードの引き出しが困難な場合があります．

また，図8-2に示すように，端子部以外にめっき・リードを出す場合は，回路上，短絡（ショート）してはいけない配線どうし，あるいは配線と外部の金属筐体が接触しないように，電解めっきの終了後，めっきリードを切断する必要があります．めっきリードを切断する際には，パンチ，もしくはドリルによる穴開け加工を施します．

このパンチ穴が追加される領域は配線を逃がす必要があります．FPCの形状によってはうまく配線できず，最悪，外形を変更しなければならないこともあります．

無電解めっきを利用すればめっきリードが不要となり，端子部にめっきを施せますが，コスト面で不利になります．

**教訓**　**低コストの部品を採用すると，それなりのリスクを伴う**

いけだ・ひろあき　日本航空電子工業（株）

Trouble Number 009

# フラット・ケーブルを動かしたり触れたりすると，ノイズ・レベルが変動する

トラブルの種類　コネクタ，ケーブル

深刻度　3

**症状**　写真9-1のようなFFC（flexible flat cable）を用いたところ，ノイズが発生しました．どうやら，FFCをフレームに近づけたり触れたりすると，ノイズ・レベルが変わるようです．このFFCは，CPU基板からセンサへ5MHzのクロックとそれに同期したデータを伝送し，合わせて電源も供給しています．全長は約700mmです．

## 原因究明の過程

このFFCをCPU基板から引き抜くと問題のノイズは20dB以上低減することから，FFCまたはその周辺の回路になんらかの設計上の問題があると考えました．

図9-1（a）はFFCの概念図です．左端の配線をグラウンド（GND）とし，そこから右手にS1，S2，…と信号が続いています．グラウンドに近い信号S1はグラウンドの影響をもっとも強く受け，グラウンドから離れるにしたがって影響は急速に弱まります．例えば，グラウンドから離れたS5（信号）と戻り（GND）の経路が作る面積はS1の場合より数倍広くなっています．このノイズ・レベル面積の間には比例関係があります．

もう一つの問題は，特性インピーダンスの変化によって信号波形が乱れることです．TDR（time domain reflectometry）法で測定したところ，GNDから0.5mm離れた信号では115Ω，5mm離れた信号では280Ωとなっていました．両者で2倍以上の差があることに注目してください．この影響は信号波形の変化となって現れています（図9-2）．

## 対策

図9-3はCPU基板の出力側（FFCの入り口）に100Ωのダンピング抵抗を入れたときの電圧波形です（700mm先の受端波形）．ICの出力インピーダンスを15Ω，FFCの配線間隔0.5mmの特性インピーダンスを115Ωとすると，ダンピング抵抗値は115 − 15 = 100（Ω）となります．グラウンド配線がすぐ横にある場合と比べても，オーバシュートやアンダシュートが大幅に小さくなりました．この結果を応用し，ダンピング抵抗を調整すれば，波形は乱れなくなります．図9-1（b）のように，片側にグラウンド面を作ったFFCを使う方法もあります．各信号線とグラウンドの間の距離が一定になるので，ノイズや信号波形の乱れは改善されます．

**教訓**　プリント基板だけでなく，FFCからもノイズは出る

くぼでら・ただし　日本フェンオール（株）

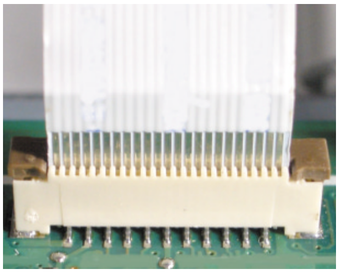


写真9-1　FFC（flexible flat cable）の接続例

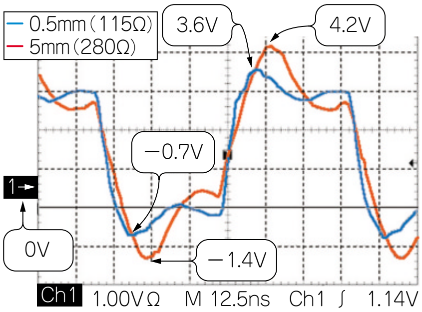



図9-2　FFCの信号の電圧波形

特性インピーダンスが高くなるにつれて，立ち上がりや立ち下がりが遅くなり，波形が乱れる．

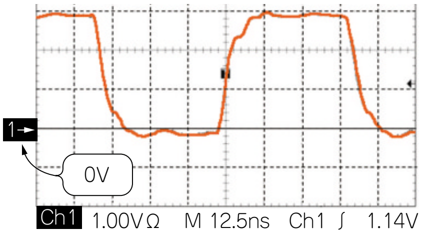
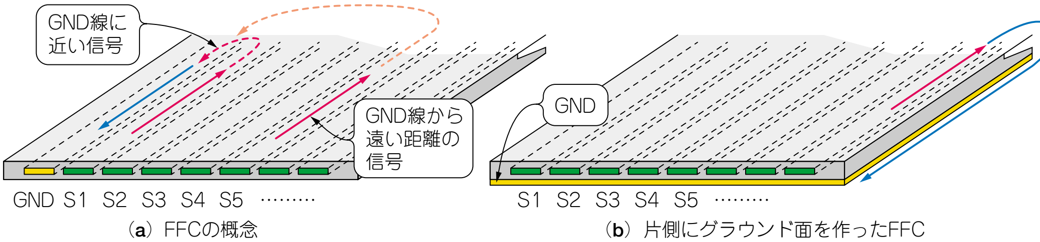



図9-3　ダンピング抵抗で整合をとった波形

FFCの入力に100Ωのダンピング抵抗を入れたときの波形を示す．GNDと信号の間の距離は0.5mm．ICの出力インピーダンスを15Ω，FFCの特性インピーダンスを115Ωとしてダンピング抵抗値を決定した．

図9-1　FFCの構造

FFCは，信号（S1，S2，…）によってGNDとの距離が異なる．（b）のようにGND用の銅はくを付けると，リターン経路は信号線の真下のグラウンド面になる．面積は板厚のみ．すべての信号線とグラウンド面の距離が同じなので，特性インピーダンスは等しくなる．



Trouble Number 010

# ノイズの影響で測定値がばらつく

トラブルの種類　計測器

深刻度　3

**症状** D-Aコンバータの出力特性を測定するため，ディジタル・マルチメータで電圧を測定していると，どうも測定値にばらつきが出て，思ったとおりの結果が得られません．ノイズが影響しているようなのですが….

## 原因究明の過程

測定しているのは16ビット分解能のD-Aコンバータです．2V出力だと，1コード当たり約30μVです．当然，このような微小電圧測定を行うには，それなりの分解能と精度を備えた電圧計を使用しますが，正確にしかも安定的に測定するには，考慮すべき項目が多くあります．

ほとんどの方は，図10-1のようにセットアップすると思います．付属のワニ口リードで接続しているだけです．いくら高い性能を持ったマルチメータを用意しても，ノイズ対策をきちんと行わなければ，良い結果は得られません．

## 対策

ノイズには，ノーマル・モードとコモン・モードがあります．電圧測定はマルチメータのHI/LO端子間で行いますが，ノイズがどう加わるかでこの2種類に分類されます．

ノーマル・モードは，電源ラインや測定系周囲などの外部からの電磁誘導が主な要因となり，測定系に直列に加わるノイズです．一方，コモン・モードは，同じく外部からの電磁誘導や測定器と測定対象の間のグラウンド・レベルの違いによるものであり，HI/LO間に共通したノイズとなります(図10-2)．測定値に影響を及ぼすのは，このうちのノーマル・モード・ノイズだけですが，コモン・モード・ノイズを無視してよいというわけではありません．

よくある勘違いとして，マルチメータはHI/LOの端子間の電圧を測定するのだから，昨今の差動伝送方式と同じようにコモン・モード・ノイズをキャンセルできるのではないかという考えかたがあります．これは一見正しそうですが，差動伝送方式と同じ効果を得るためにはフローティング型電圧計というものが必要です．しかし，ほとんどのマルチメータはこの方式ではありません．そのため，コモン・モード・ノイズが発生した場合，それがHI/LO間でキャンセルされるのではなく，ノーマル・モード・ノイズに変化して，測定値に影響を及ぼすということがよくあります．

そこで，マルチメータに付いているガード端子(図10-3(a))を利用します．これによって，コモン・モード・ノイズをインピーダンスのいちばん低いガード側に流してやり，HI/LO端子へのノイズの流入を阻止します(図10-3(b))．

最終的にどうしても残ってしまうコモン・モード・ノイズについては，マルチメータの積分時間を多くすることで減少させます．ランダム性のノイズはもちろん，電源ラインからの誘導によるノイズについても，大幅に改善できます．

**教訓** ノイズの発生原理を理解し，測定器にノイズ対策を施してから測定に入る

かげうら・としのり　アジレント・テクノロジー(株)

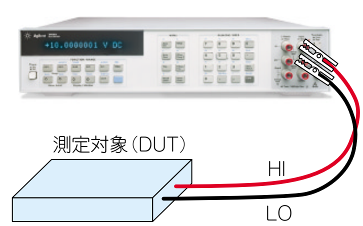
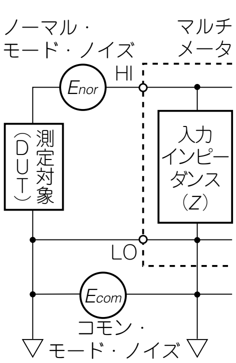
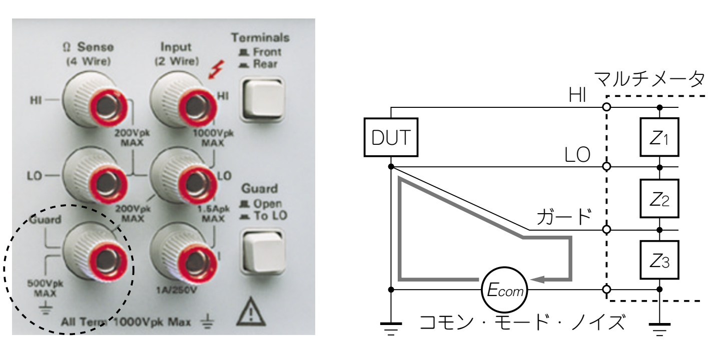



**図10-1**
**電圧測定のセットアップ**
マルチメータのHI/LO端子にワニ口リードなどを用いて測定対象に接続することが多い．




◀ **図10-2**
**コモン・モード・ノイズとノーマル・モード・ノイズ**
測定系に直列にのるのがノーマル・モード，HIとLOに共通にのるのがコモン・モードである．




(a) ガード端子　(b) ガードの接続

▶ **図10-3**
**ガードを利用してノイズを阻止**
ガード端子を利用すると，インピーダンスのいちばん低いループにコモン・モード・ノイズが流れ，HI/LO端子には流れ込まなくなる．

Trouble Number 011

# 静電気で計測器の故障が多発

トラブルの種類 計測器
深刻度 3

**症状** 基板の特性インピーダンスを評価しています．TDR測定器は静電気にとても弱いため，アースへの接地はもちろん，リスト・ストラップや静電マット，静電気除去器（イオナイザ）も利用しています．それにもかかわらず，静電破壊と思われる測定器の故障を防げません．これ以上，どのようにすればよいのか悩んでいます．

## 原因究明の過程

TDR測定器はメーカを問わずとても静電気に弱い性質を持っています．それはTDR測定器の構造に起因しています．図11-1のようにTDR測定器のch1入力から内部のサンプラ回路までは，TDRステップ・ジェネレータを介して直結しています．TDR測定には非常に立ち上がりの速い信号が必要で，そのためサンプリング・オシロスコープをベースとしたものは，測定帯域幅を得るために入力段にアッテネータなどがまったくない構造となります．また，このサンプラは±数Vの耐圧しかなく，数百～数万Vと言われる静電気が流れると簡単に破壊されてしまうのです．

実は筆者の会社では，このような静電破壊が原因と思われるTDR測定器の修理依頼が多くあるため，担当のエンジニアがその状況を探るために多くの事例を検証したことがあります．その結果，利用時の静電気対策が十分でないケースが非常に多いことがわかりました．では，リスト・ストラップや静電気除去器などを使用していたにもかかわらず，なぜ静電破壊が起きたのでしょう．

検証ではまず，何も実装されていない基板を非接触の表面電位計で測定しました．そうすると，基板を持ち上げただけで表面になんと数kVの静電気が発生しました．次に，その状態で静電気除去器を使用すると，表面の電位は0Vになり静電気は除去されます．ただし，基板には表層の線路と内層の線路があります．静電気除去器を使うと，表層のマイクロストリップ線路の静電気は除去できますが，内層のストリップ線路の静電気は除去できないのです．

さらに，TDR測定に使用するプローブやケーブルにも同じことが言えます．同軸構造になっていると，内部の信号線に静電気がたまっている可能性があります．

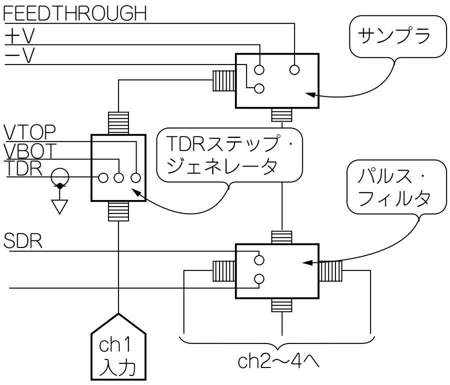
## 対策

これまでの対策に加えて，二つの静電気対策を取るようにしました．まず第1に，適当な長さのリード線の一方を接地された測定器のGNDに接続し，もう一方であらかじめ測定対象に触れて放電してから，プローブなどを接続するようにしました．第2に，測定器にケーブルやプローブを接続するときは，かならず信号線部分も放電してから接続するようにしました．

静電気対策については，専用の装置を使用する方法もあります．写真11-1は米国Picosecond ATE社のものです．プローブとTDR測定器の間に接続して，フット・スイッチによる広帯域リレーによって，測定器と測定対象を切り離したり，測定対象の電圧をグラウンドに落とし，静電気を除去することができます．

**教訓** 静電気対策にやりすぎはない．見えない分だけよけいに注意が必要

かげうら・としのり　アジレント・テクノロジー（株）




◀ 図11-1 TDRチャネルの概略図
ch1の入力からステップ・ジェネレータを介してサンプラに接続されている．サンプラは静電気に弱い．



▶ 写真11-1 静電対策用の装置の例
リレーによって物理的に接続を切り離し，測定対象をグラウンドに接続する．フッ

Trouble Number 012

# オシロスコープの測定結果を信用できない

トラブルの種類　計測器

深刻度　4

**症状**　これまで，オシロスコープによって得られた結果に対して，なんの疑いも持っていませんでした．ところが，あるとき，別の部署のエンジニアから，「その測定結果はほんとうに正しいの？」と言われました．別のオシロスコープの測定結果を見ると，自分の結果と異なっています．これまで測定した結果がほんとうに正しいものだったのか，不安になってきました．

## 原因究明の過程

このとき測定していたのは，100MHz程度で動作する回路です．何度測定しても，以前とほぼ変わらない測定結果が得られます．しかし，ここで気づいたことがあります．どの結果も，自分のほうのオシロスコープの波形がいつもなまっているのです．立ち上がりがなまるということは，オシロスコープの帯域不足に起因する高調波成分の減衰が原因ではないかと考えられます．実際，オシロスコープの帯域幅は，自分の使用しているものが250MHzで，他部署で使用しているものはその倍の500MHzでした．それが原因と考えていたところ，上司がひと言．「プローブはどうなんだ？」．500MHz帯域のプローブを使用しており，問題はないと思っていたのですが，どうもこの問題は多くの事がらが絡み合っているような気がしてきました．

そして，よく調べてみると，実はプローブの問題であることがわかりました．この帯域では，一般に10：1程度のパッシブ・プローブが使用されます（写真12-1）．このプローブはオシロスコープの入力に接続する部分にトリマがあり，ここの容量補正がきちんと行われていなかったのです．

## 対策

プローブの容量補正を行わなければ，正しい測定はありえません．基本的に補正方法はどれも同じで，オシロスコープのCAL信号端子にプローブを接続し，トリマを調整します．この補正が正しくないと，なまりを発生させる原因になります（図12-1）．

ただし，この容量補正を正しく行ってもなお，立ち上がりのなまりが残るケースがあります．それは，当初に予想したオシロスコープの帯域不足です．この場合は，1）リンギングはあるか，2）プリシュートはあるか，の2点に注意する必要があります．1）だけが観測される場合は，インピーダンスが整合していない測定対象をきちんと測定できていると考えられます．一方，1）と2）が同時に観測される場合は，オシロスコープの帯域不足が考えられます．

ここで注意したいのは，オシロスコープの帯域を考えるときも，やはりプローブを考慮する必要があるということです．帯域と立ち上がりの関係式は以下のようになります．

帯域［Hz］＝0.35/立ち上がり時間［s］

例えば500MHzのプローブを500MHzのオシロスコープに接続した場合，全体の帯域は約350MHzとなります．

**教訓**　いつも使っている装置だからといって，計測結果をうのみにしてはいけない

かげうら・としのり　アジレント・テクノロジー（株）

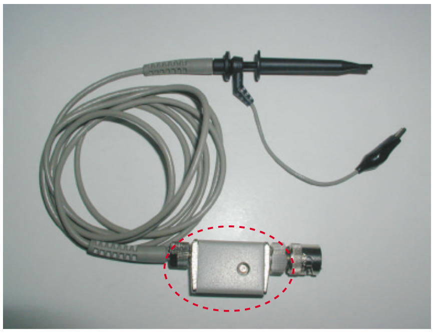
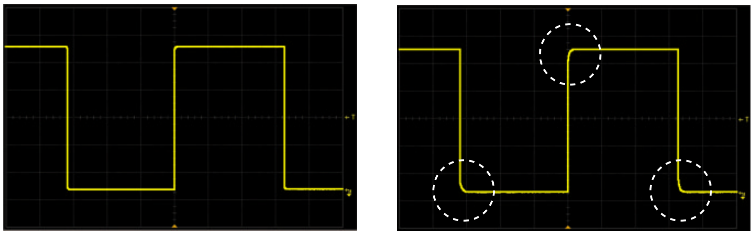


**写真12-1　10：1パッシブ・プローブの例**
点線で囲まれた部分に容量補正用トリマがある．



（a）正しく補正されたとき　（b）補正が正しくないとき

**図12-1　容量補正**
オシロスコープのCAL信号端子にプローブを接続し，トリマを調整する．この補正が正しくなかったため，波形がなまっていた．

Trouble Number 013

# 計測器が頻繁に故障する

トラブルの種類　計測器
深刻度　5

**症状** 評価作業時に，電源や信号源，オシロスコープなどの複数の機器を使用しています．あるときから測定器がよく故障するようになりました．とくに信号を入力するロジック・アナライザがよく故障します．定格を超えた過大入力があったためとメーカ側は指摘しますが，使用している電圧はすべて5V以下です．

## 原因究明の過程

実は，これはある測定器ユーザからの問い合わせが事の始まりでした．よくよく聞いてみると，測定しようとすると，そのロジック・アナライザがすぐに壊れ，測定できなくなるとのことでした．

早速，現地に出向いて原因を探っていったのですが，なんら問題はなさそうです．そこには，高速信号用と低速信号用のロジック・アナライザ2台に加えて，オシロスコープ，マルチメータ，測定対象用の電源装置と制御用パソコンといった，ごく普通の評価環境があるだけです．測定対象が何か悪さをしているようにも考えられません．

しばらく悩みましたが，このような場合に最後に考えられるのは電源周りです．さまざまな条件で測定しながら探っていくと，原因はやはりここにありました．そう確信したのは，電源が2極の，いわゆる普通の電源タップに接続されていたためです．これはパソコンの電源プラグの形状に合わせるためで，測定器も3極から2極への接地付き変換アダプタ（写真13-1）を介して接続していたようでした．

ほとんどすべての測定器は接地することを前提としているため，これは明らかに問題です．比較的古い測定器では，接地しないと筐体に大きな電圧がかかることがあります（最近の機種ではそのようなことはほとんどない）．今回の機器のうち，低速信号用ロジック・アナライザが比較的古い機種で，その筐体と別の機器の筐体の間の電位差を測定してみると，なんと50V近い電圧になっていました．

すべての機器を接地するようにお願いをして，一見落着かと思われましたが，後日，もう一つの原因を発見することになりました．その原因とは，電源タップが二つあり，それぞれが異なるコンセントから供給されていたことです．

それぞれの筐体間を同じように測定してみると，二つのタップの接地の間でやはり電位差が観測されました．ユーザの作業部屋は比較的大きなスペースで，聞いたところ，複数の部屋を改装して一つのスペースにしたものだそうです．当然，屋内の電源配線は以前のものを流用しており，運悪く今回使った二つのタップは，それぞれ近くのコンセントに接続されているにもかかわらず，まったく別系統の回路であることが判明しました（図13-1）．

## 対策

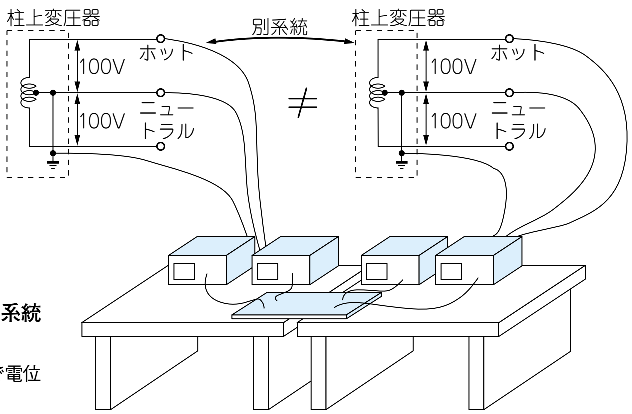
結局のところ，電源系統間の電位差によるものと結論づけ，同じ系統の電源ですべてをそろえることによって問題を解消できました．こういった電源関連のトラブルは，ロジック・アナライザなどの低電圧を前提にした計測器でよく起こります．

**教訓** 計測器に限ったことではないが，電源はすべての基本

かげうら・としのり　アジレント・テクノロジー（株）




◀ 写真13-1
3極から2極への変換アダプタの例
これを使えば変換できるが，接地しなくてよくなるわけではない．




▶ 図13-1
隣り合った測定環境が異なる電源系統を利用
機器の共通の接地がないと，機器間で電位差が生じてしまう．

Trouble Number 014

# 複雑な基板外形の入力作業がたいへん．ロゴや文字も入れたい

トラブルの種類 CAD運用

深刻度 2

**症状** 筐体の形が複雑なうえ，周囲に障害物があるため，複雑な基板形状が指定されていました．また，シルク印刷でメーカのロゴや指定フォントの文字を入れるように要求されました．しかし，プリント基板用CADツールには複雑な形状を作図するコマンドがありません．

## 原因究明の過程

プリント基板用CADツールは，図形の作図よりも配線による回路の接続機能に重点が置かれています．また，生成されるGerberデータの容量が大きくなりすぎないように，複雑な作図や絵柄の入力機能が省かれていることが多いようです．このため，ツール上で複雑な基板外形を作成したり，画像データを挿入することは，一般に困難です．

## 対策

プリント基板用CADツールの多くは，GerberファイルやDXFファイルを読み込む機能を備えています．複雑な図形は別のツールで作成し，この機能を利用して取り込む方法がいちばん確実です（図14-1）．

**1）複雑な基板外形の作成**

基板外形は，豊富な作図機能を備えている機械系CADツールを使用して作成しましょう．そして，これをDXFで保存した後，プリント基板用CADツールに読み込みます．基板設計の開始時に，すでに筐体や機構上の制約が機械系CADツールによって図面化されている場合は，機構設計者からDXFファイルの基板外形図をもらえる場合も多いと思います．ただし，リビジョンの問題には注意してください．プリント基板用CADツールの中には新しいリビジョンのDXFを読み込めないものがあります．その場合は，機械系CADツールで古いリビジョン（R12またはR14）で保存すると解決します．

**2）ロゴの挿入**

まず，ロゴ・データをDXFまたはGerberで入手することを考えます．ロゴが貼り付けられている別の基板があれば，このCADデータからDXFまたはGerberのデータを抽出します．ほかのフォーマットでしか入手できない場合は，専用の変換ツールを用いてDXFまたはGerberに変換します．これらの方法でロゴを準備した後，DXFまたはGerberの入力機能を用いてCADツールに読み込みます．

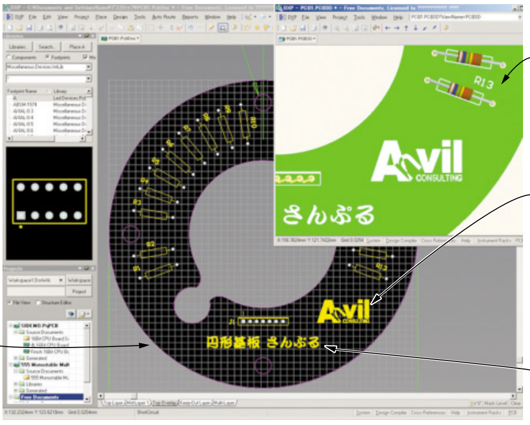
**3）指定フォントによる文字の挿入**

シルク印刷に文字を挿入する必要がある場合，まず，TrueTypeフォントの中から指定のフォントと同一または類似のものを探します．これを使って文字を書き，Gerberに変換します．TrueTypeからGerberへの変換ツールは市販されており，入手は容易です．ただし，Gerberファイルの読み込み機能を備えていないCADツールではこの手法を用いることはできません．この場合は，基板設計の完了後，Gerberエディタを使って指定の文字を貼り付けます．

**教訓** CADツールで作図や図形の挿入が難しい場合には，別のツールとの連携を考える

じょうの・ゆきお　アンビル コンサルティング（株）

**図14-1**
**複雑な基板外形，ロゴなどの処理**
複雑な基板外形は機械系CADツールで作図する．ロゴやTrueTypeフォントの取り込みには，市販または無償



Trouble Number 015

# 入手したCADデータが読み込めない

トラブルの種類　CAD運用

深刻度　3

**症状**

**プリント基板の改版とサービス・マニュアルなどのドキュメント作成のため，既存のプリント基板のCADデータの編集や，必要部分の抽出を行いたいと思いました．ところが，レイアウト設計者から受け取ったデータを手持ちのCADツールに読み込めません．社内の基板設計部門と社外の設計会社にレイアウト設計を委託しているため，受け取ったCADデータの種類がまちまちで，フォーマットやリビジョンもわかりません．**

## 原因究明の過程

読み込めないのは，受け取った基板データのフォーマットを手持ちのCADツールがサポートしていないことが原因と考えられます．まず，CADツールの種類とファイルのリビジョンを特定しなくてはなりません．

多くのCADツールでは，ファイルを保存するときに，ASCII形式とバイナリ形式のいずれかを選択できます．まず，テキスト・エディタを使ってファイルを開きます（図15-1）．テキスト表示されないようであれば，データの作成元にASCII形式で保存されたCADデータを請求して入手してください．

一方，ASCII形式のCADファイルの先頭には基本情報が書かれています．ここに示されているツールの種類とファイルのリビジョンを確認します．なお，CADデータを自社のCADツールに読み込んだときに表示されるエラー・メッセージは，リビジョンの相違による読み込み不良の場合には役に立ちますが，CADツールの種類が異なっている場合にはほとんど役に立ちません．

## 対策

CADツールの種類とファイルのリビジョンがわかれば，次のような手順で対策を行います．

**1）CADツールの種類が同一でリビジョンが異なる場合**

受け取ったデータのリビジョンが，手持ちのCADツールがサポートしているリビジョンよりも新しいときは，データの化けや欠落が起こる場合とまったく読めない場合があります．データの化けや欠落が簡単な編集作業で手直しできる範囲であれば，エラー・メッセージを参照しながら一つ一つ手直しします．化けや欠落が多い場合やまったく読めない場合は，データの作成元に手持ちのCADツールと同一リビジョンのデータを再請求して入手してください．

**2）CADツールの種類が異なる場合**

CADツールは機種ごとに独自のフォーマットを備えているため，異なるCADツールで作成されたデータを読むことはできません．しかし，以下のような方法でデータを受け渡せる場合があります．

一つ目は，他機種のCADフォーマットの読み込み機能を利用する方法です．取扱説明書や読み込みのコマンド・メニューを確認してください．対象のフォーマットがサポートされていれば読み込めます．オプションとして，この機能が別売りされているケースもあるので，CADベンダにも聞いてみましょう．

二つ目は，市販のCADフォーマット・コンバータを利用する方法です．これを入手することによって手持ちのCADツールのフォーマットに変換することができます．ただし，国内にはこのようなソフトウェアのベンダがなく，この方法がとれるのは，主に欧米の製品を利用している場合に限られます．

三つ目は，CADデータではなくGerberデータを入手して，Gerber入力機能によってプリント基板のアートワークを読み込む方法です．ただし，再現できるのは絵柄のみで，部品移動など，CADツール本来の機能による編集は行えません．ただし，CADツールの中には，Gerberデータからある程度の編集に耐えうるCADデータを生成する機能を備えているものもあるようです．

**教訓**　**CADデータを読み込めないときは，ASCIIデータを入手して，まず，ツールの種類やリビジョンを調べる**

じょうの・ゆきお　アンビル コンサルティング（株）




**図15-1　CADデータのASCIIファイル**
最初の部分にCADデータの基本情報が示されている．

Trouble Number 016

# ハロゲンフリー基材に切り替えたら，誤動作が発生した

トラブルの種類　環境対応

深刻度　3

**症状**　環境対応の一環として，プリント基板の材料をこれまで使用していた一般的なFR-4材から，ハロゲンをほとんど含まない（ハロゲンフリーの）FR-4材に変更することが社内で決まりました．すでに出荷を行っていた製品に対して一律に基材の変更を行ったところ，誤動作を起こす製品が出てきました．変更したのは基材のみで，アートワークなどはいっさい変更していません．

## 原因究明の過程

変更したのは基材のみなので，そこに原因があると考えるのが自然です．そこで，基材のカタログを取り寄せてみると，比誘電率（$\varepsilon_r$）の値が一般的なFR-4材とハロゲンフリーのFR-4材とでは異なることがわかりました．さらに，複数の基材メーカの間で比誘電率を比較したところ，一般的なFR-4材では各メーカともほぼ同等の数値になっているのに対して，ハロゲンフリーのFR-4材は基材メーカごとに値が異なることがわかりました（表16-1）．この数値をもとに，伝送線路の特性インピーダンスを計算したところ，計算結果が3Ω程度ずれました（図16-1）．

また，今回納品された多層基板を切断して断面形状を計測したところ，一般的なFR-4材とハロゲンフリーのFR-4材とでは，ストリップ線路を形成している絶縁材の厚みが異なることもわかりました．これは，基材の化学的な性質が異なるため，プリント基板メーカで多層基板を製造する際の積層工程におけるしあがりが異なるためです．この基材のしあがり厚みの違いまで考慮すると，特性インピーダンスはさらにずれることが考えられます．

## 対策

ハロゲンフリーの場合の比誘電率は一般のFR-4材の比誘電率と異なること，そして，基材メーカによって差があることがわかったので，プリント基板メーカに対して基材メーカおよび基材型番を指定するようにしました．

また，多層基板製造時の積層工程における絶縁層しあがり厚みはプリント基板メーカによって差があります．そのため，ストリップ線路の配線幅が基板メーカの指定値どおりになるように，アートワークを修正しました．

さらに，伝送線路の特性インピーダンスの精度を保つため，プリント基板メーカに対して特別の管理手法によって製造された基板（いわゆるインピーダンス・コントロール基板）を納入する契約に切り替えました．

なお，今回の基板では関係ありませんでしたが，ハロゲンフリーのFR-4材を利用する場合，前述の基材の化学的特性の違いから，筐体への取り付け穴や部品取り付け穴などを設ける際の加工条件（設計仕様）が異なるケースがあるので注意してください．あるメーカの例では，一般的なFR-4材の基板外形から取り付け穴までの距離は1.5mmが最小値でした．一方，ハロゲンフリーのFR-4材の場合は1.8mmが最小値となっていました．実装密度の高い設計を行っている場合は，こうした設計ルールの変化にも注意を払う必要があります．

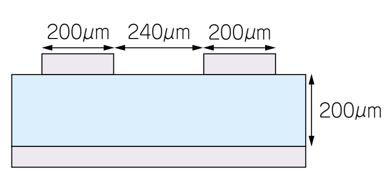
**教訓**　ハロゲンフリー基材に切り替えるときは，比誘電率などの特性変化に要注意

なかがわ・まさお　（株）シイエムケイ回路設計センター

**表16-1　比誘電率の例**

一般のFR-4材では各社とも比誘電率がほぼ同じ数値だが，ハロゲンフリーのFR-4材では最大0.5ほど異なる．

| | A社 | B社 | C社 |
|---|---|---|---|
| 一般的なFR-4材 | 4.7 | 4.7～4.8 | 4.7 |
| ハロゲンフリーのFR-4材 | 5.2 | 4.8～5.0 | 4.7 |




（a）線路の条件

| | |
|---|---|
| 一般的なFR-4材 | 100.4Ω |
| ハロゲンフリーのFR-4材 | 96.8Ω |

（b）特性インピーダンス

**図16-1　差動特性インピーダンスの例**

（a）のような条件で計算すると，一般のFR-4材とハロゲンフリーのFR-4材とでは特性インピーダンスに3Ω程度の違いがでた．基板のしあがり状況によって，さらにずれることも考えられる．